# 第十五章　堆肥施用策略

王鐘和

台灣省農業試驗所

## 一、前言

廣義的「肥料」是指能肥田之物料，一切物料無論是施於土壤或植物之葉部，能直接提供作物營養分或能改良土壤之物理、化學與生物性質，有益作物生長及營養元素之吸收，增加作物之產量，或改善產品之品質者，均稱為肥料。由於氮、磷、鉀三要素肥料影響作物生長量，收穫物對生長量之比例（即收穫指數）及收穫物的品質至大，故其施肥量、施肥方法及使用肥料種類之選擇等乃為施肥上之重要課題。

根據八十三年台灣農業年報，主要農產廢棄物和禽畜糞量，年約有 1,478 萬公噸，若以 35 % 可製成堆肥，估計年生產量約 517 萬公噸，而全年禽糞尿中之三要素含量達氮素 15.2 萬公噸，磷酐 17.2 萬公噸及氧化鉀 11.6 萬公噸，分別佔全年化學肥料三要素量之 58 %、253 % 及 110 %，實為國家寶貴資源，但目前禽畜糞用來製造堆肥者，約只有 10.7 %，尚有近 90 % 之禽畜糞未善加利用而排放到河川中，不僅污染環境，資源浪費亦甚為可惜，而主要農產廢棄物亦只有 2.9 % 用於製造堆肥。

堆肥是有機質肥料的一種。有機質肥料之功能甚多，諸如：改善土壤物理性，包括增進土壤團粒構造、保水力、通氣性、調節土壤溫度，降低總體密度及土壤流失等；對土壤化學性亦有助益，包括提高陽離子交換能量、增加營養分儲存能力、增大緩衝能力等。此外，並可使土壤微生物相多樣化，微生物活性增加，減少病原菌生長。因此普遍地被施用於作物栽培上，藉以改善農田土壤之理化及生物性質，提高作物產量與品質。

## 二、堆肥施用一般要領

### (一)考量堆肥之特性

有機質肥料種類繁多，大致可分為難分解型與易分解型兩種：難分解型一般是以稻殼、樹皮、木屑、作物殘株等堆製腐熟而成之有機質肥料，含豐富纖維質，但氮、磷、鉀三要素含量較少，因其在土壤中的分解較慢，適宜用在改良土壤理化性質和促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境。易分解型一般以禽畜糞、動物性廢棄物、油類等腐熟而成之有機質肥料，含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量高，其所含養分在土壤中分解釋放較快。施用時應注意其釋出之要素養分量，相對的減少化肥要素用量。此外，連年施用有機質肥料後，除了當作所施有機質肥料之可礦化養分量外，亦要評估土壤中累積之既有有機質之可礦化養分量，以二者之和作為預期可由有機質供給之要素量。

(二)考量作物種類與需肥特性

生產潛力較大之品種需肥量多，短期作物如蔬菜作物養分供應量要充足（尤其氮肥），長期作物如果樹作物要注重土壤性質改善，促進根系活性，以及配合作物生育分化階段，調節養分供應。

(三)注意堆肥品質

堆肥如未經發酵完全，施用後易因繼續在土壤中發酵，產生危害作物根部之物質，滋生病原菌及雜草叢生等現象，故在施用前要注意其品質。

(四)宜當基肥使用

堆肥施用至土壤中，除了原先含有之少量無機態養分外，大部份的養分需經土壤中之微生物分解後，才能釋出供作物使用，且其養分係緩慢釋放，因此，宜當基肥使用，種植前翻犁，使充分與土壤混合，且避免與石灰資材同時混合施用，避免銨態氮以氨氣狀態揮散損失。

(五)配合良好的水分管理

土壤的水分保持適宜狀態，有利於微生物活動分解堆肥釋出養分，且有益於作物根系吸收養分，提高堆肥養分之利用率。

三、有機質肥料肥效之檢討

營養元素係以簡單之離子型態被作物吸收，有機質肥料之營養成分須經土壤中微生物之分解礦化釋出無機養分，作物才得以吸收，有機質肥料在土壤中的礦化作

用除了其本身之性質外尚受到許多因子影響，諸如土壤環境特性（溫度、水分、質地、pH 值、有機質含量等）、氣候環境（溫度、降雨量等）、耕作制度、施用量及施用時期等因素之影響。一般而言，有機質肥料的肥效，係以肥料要素，尤以氮素之供應為主。堆肥等有機質肥料在施用初期因礦化率較低，肥效率低於施肥量相當的化學肥料，連年施用後，因其分解殘餘之有機質逐漸累積，礦化率漸增，肥效率才漸接近於施肥量相當之化學氮肥。此累積之礦化率，理論上不超過 100% ，故其肥效率在本質上並不超過施肥量相當之化學肥料（圖一）。式一係假設有機質肥料之年礦化率為 0.9 (90 %)，式 2 則假設為 0.1 (10 %)，長年施用後累積之礦化率均趨近於 1 (100 %)。

$$0.9 \times (1 + 0.1 + (0.1)^2 + \ldots\ldots + (0.1)^n)$$

$$= 0.9 \times \frac{1 \times (1 - (0.1)^n)}{1 - 0.1} \fallingdotseq 1 \text{ ---------(式一)}$$

$$0.1 \times (1 + 0.9 + (0.9)^2 + \ldots\ldots\ldots + (0.9)^n)$$

$$= 0.1 \times \frac{1 \times (1 - (0.9)^n)}{1 - 0.9} \fallingdotseq 1 \text{ -----(式二)}$$

圖二係田中氏檢討日本 Aomori 農事試驗場不同用量堆肥/化學氮肥連用試驗各處理區第 22 – 26 年 5 年間之平均收量所繪。由該圖可見堆肥和化肥配合施用之各區收量 (反應曲線 a) 略高於化肥單用區 (反應曲線 b) ，而以堆肥 18.7 t/ha 和化肥 N 75 kg/ha 配合施用區獲得最高收量。惟 18.7 t/ha 堆肥含 N 95 kg ，如將此氮素含量亦加算於化肥氮素之用量，則收量之氮素反應曲線 a 順著 X 軸位移 N 95 kg/ha ，成為反應曲線 a' 。再看獨施堆肥 18.7 t/ha 區收量為 4 t/ha ，係與獨施化肥 N 54 kg/ha 區之收量相同，可見堆肥氮素之肥效率為化肥氮素之 60 % 。如將反應曲線 a 順著 X 軸只位移 N 56 kg/ha 則成反應曲線 a" 。反應曲線 c 因未設更多的化肥 N 用量處理，無從得知其反應曲線之全貌，惟反應曲線 a" 恰好在 c 之延長線上，亦極似其推測之反應曲線。綜觀反應曲線 a, a' 和 a" ，堆肥 18.7 t/ha 與不同用量化肥氮素配合施用所得效果係屬有機態氮和無機態氮相加之效果，看不出二者有任何相加乘效果；在上述試驗中 18.7 t/ha 堆肥所示效果始終是以氮素供應之效果為主，其肥效率且只及化肥氮素之 60 % 。

而表一亦顯示 48 年連用農家堆肥 (其氮素含量相同於化學肥料區之氮肥用量) ， 48 年共計施用氮素 8075 公斤/公頃，化學區及堆肥區水稻吸收之氮素量相近，不論施用的是化肥或堆肥所含之氮素被水稻吸收之比率相近，化肥區為 25.0 % ，堆肥區則為 25.7 % ，而資料亦示堆肥區之氮素損失率雖略低於化學區之 70.5

%，惟仍有高達 59.4 % 之氮素損失，顯示堆肥中之氮素養分，經礦化分解成無機態後，其行為亦如化學肥料氮素一般。而 Koyama (1996) 亦指出在一作洋蔥生育期間堆肥之氮素淋洗流失之比率達 40 %。

一般認為有機質肥料之肥效，旱田高於水田，除了養分供給之功能以外，有機質改善土壤物理性和生物性之功能更能在旱田發揮故。惟就土地利用性之旱田作物而言，施用有機質肥料之肥效以養分之釋出為主要。洛桑 (Rothamsted) 試驗場長達 26 年之長期有機肥和化學肥連用試驗，結果亦顯示 $N_3$ 區 (N 145 kg/ha) 小麥收量高於 $N_2$ 區 (N 98 kg/ha)，但相似於廄肥區 (35 t/ha) 之產量，亦可判釋廄肥區之肥效實為化學氮肥所可替代者。

圖三顯示堆肥和化肥氮素之配合施用一般雖優於化肥氮素之單施效果，惟化肥氮素用量增加時，此種收量差異終歸於零。可見堆肥之效果在此仍以氮素為主，並可以化肥氮素替代。圖四顯示堆肥對波菜有三要素以外之特殊效果。此等效果不能以 N 之增施替代。惟菠菜試驗地之台北土壤 pH 4.5 屬強酸性，而菠菜忌酸性土壤等事實，堆肥所表現之增產效果是否由於土壤 pH 之調整及所含高量鈣質所致，仍值得注意。而鄭 (1990) 亦指出施用有機肥區菠菜之收量高於化學肥區，惟有機肥區菠菜植體中硝酸態氮含量也如高量化學肥區一樣顯著增加。

圖五示日本神奈川縣試驗場於 1978 – 86 前後 9 年共 17 作蔬菜連用各種有機肥（牛糞堆肥或菜仔粕）

和化學肥料 (磷酸銨複合肥料， 14-14-14) 之各區相對收量變遷。在此試驗中菜仔粕連用區之氮素用量與化肥區 (IF) 相同，均為每作 190 kg/ha 。牛糞堆肥區之氮素投入量雖高達化肥區之 3 倍，惟各作蔬菜之收量仍低於化肥區，由於蔬菜具有在短期間吸收大量要素之特性，相信係與氮素之礦化率低，氮素之供給量不足有關，雖然這種差異隨著堆肥之連用有逐漸縮小趨勢。

有機質肥料之肥效既與所含氮素之釋出關係最為密切，施用不同有機質肥料在複雜的土壤環境中，有關氮素礦化之模擬、預測或一定期間可礦化氮量之化學速測等，乃為有效應用有機質肥料之重要課題。相關之研究亦指出不同種類之有機質肥料在不同之土壤中，其氮素礦化量及對作物生長效應不同。

由於有機質肥料養分單價偏高及養分含量偏低、體積膨鬆，欲以有機肥料供應作物所需全部養分殆不可能。此外，作物的每一生長時期對養分之需求量因其生長量，根系之發育形態，及其吸收養分之機能而不同。故理想的施肥方法要能配合作物的生長時期，適時適量的施用肥料。合宜的施用化學肥料可成功地達到此目標，而有機質肥料施於土壤中需經過分解過程始可釋出作物所需養分，其分解速率除了有機質肥料本身之性質外尚受土壤及氣候環境、耕作制度等所影響；有關機制亟需研究模擬，才能估測施用有機質肥料可供給之養分，因此即使是充分腐熟的堆肥，也不能克服適時適量供應作物足量的養分之困難。故有機質肥料的施用必須配合適量化

學肥料，以符合經濟效益，並可供應作物充分養分。

## 四、省產有機質肥料成份穩定性之探討

圖六至圖八係依據農試所農化系化學分析室不同時間取樣分析市售幾種廠牌之雞糞堆肥、豬糞堆肥及牛糞堆肥之全氮含量及碳氮比之資料所繪，顯示其變異甚大，全氮含量代表堆肥可礦化供應之總氮量，而碳氮比則為堆肥礦化釋出氮素之重要指標，其變異大，對農友施用堆肥自然造成不良之影響。此外，圖九及圖十則顯示本省市售之禽糞堆肥之全氮含量之變異甚大，且有相當比率為水可溶性之無機態氮，最多達 50 % 左右，而雜項有機質肥料之全氮含量中水可溶之無機態氮部份更有高達 90 % 左右者，此與一般所謂有機質肥料之養分係緩慢釋放之認知，顯有差距，此種氮素養分之不穩定性，實不利於有機質肥料施用技術之建立。

## 五、長期施用之影響

長期過量的施用有機質肥料除了可能造成土壤中累積多量的有機質、礦化氮素量超過作物生長所需的氮素需要量，造成作物產量及品質下降及污染環境，此外，習慣常以氮素含量為估算施用量之基準常發生養分不均衡問題。表二顯示豬糞堆肥及雞糞堆肥所含之磷含量顯著多於氮素含量，洪 (1995) 亦指出豬糞堆肥之 $N:P_2O_5:K_2O$ 為 3.7 : 7.2 : 2.3 ，而王等 (1999) 指出 15 作蔬菜三要素之吸收量為氮 110 公斤公頃、磷酐 33 公斤/公

頃及氧化鉀 170 公斤/公頃，顯然蔬菜作物吸收磷素之量顯著少於氮素，因此以氮素含量為基準之施肥，必然造成磷肥過量，長期施用所造成的不平衡將更加嚴重，相關長期施用有機質肥料之試驗亦有土壤中磷及鉀鈣鎂要素高量累積之現象，其對土壤環境及其他養分元素之影響，值得加以關注。

故長期施用有機質肥料時，應配合施含氮量高之有機資材或化肥氮肥，既可減少有機質肥料用量，且可避免上述現象產生。此外，長期施用有機質肥料亦有造成土壤 pH 值顯著提昇之現象，趙等 (1996) 指出有機農耕法土壤 pH 值多在 7.2 及 8.3 之間，鍾及翁 (1998) 亦有施用有機質肥料顯著提昇土壤 pH 值之報告，而王等 (1999) 亦有指出有機蔬菜區三作蔬菜連續施用雞糞堆肥後，表土 pH 達 7.6 顯著高於化肥區之 6.2，鑑於部份營養元素在鹼性之土壤環境中有效性降低，及鹼性環境易使表施之銨態氮肥以氨氣之型態揮散，長期施用有機質肥料時，土壤 pH 之變動趨勢，實須加注意。

部份學術及農業試驗單位，分析過省產堆肥之品質，大家較注意的是重金屬含量偏高之問題，其中以銅、鋅、鋁、鎳較高 (表三)，部份高於本省主要土類重金屬全量背景值之上限 (表四)，相關試驗亦指出長期施用有機肥區表土萃取性銅與鋅量顯著高於化肥區，許等 (1998) 亦有施用牛糞堆肥及豬糞堆肥增加土壤中有效態銅鋅含量及狼尾草植體銅鋅含量之報告，惟研究指出土壤中重金屬經作物吸收後在植物體中之含量分別為：根部 > 莖

葉 > 果實，謝 (1998) 指出有機農法生產之農產品食用部位如毛豆仁、甜玉米粒、甘藍球部、糙米、青花菜花蕊等之重金屬含量並未高於化肥區之產品，譚等 (1998) 調查分析省產楊桃、番茄、番石榴、木瓜及茼蒿等蔬果之銅鋅含量，得到施用有機質肥料區與化學肥料區生產之各種蔬果銅鋅含量並沒有差異之結論。綜合以上資料，雖然禽畜糞堆肥施用於農田對土壤肥力有所助益，但長期施用時，其所含重金屬仍須加以注意，因重金屬在土壤中不易回收，且有機質肥料之施用量甚大，施用有機質肥料是否使農田土壤受重金屬污染之顧慮值得重視。

## 六、土壤診斷與施肥推薦

園藝作物常施肥過多，導致土壤中鹽分累積，作物生長受阻。此等情形尤以設施栽培為最。由於每作施肥量多，每作殘留的肥料量或有機質很多，此等殘留無機態養分量及有機質於下作期間可礦化之養分量等測定對於次作施肥量之調節甚為重要。藉土壤診斷以調節施肥乃益加必要。惟土壤診斷過去最缺者乃土壤有效態養分供應能力之測定，係因影響土壤有效養分礦化有關因素複雜，養分礦化量之預估較難故。

土壤速測是土壤肥力的快速診斷方法，係利用化學分析方法測定土壤樣品的若干物理化學性質與有效養分含量，藉以診斷該土壤的肥力狀況，進而推薦適當的施肥量。因此就土壤一定期間可礦化的養分量為對象，探討速測方法，以便掌土壤於一作期間可供應之養分量，

藉以調節其肥料施肥量。此外由於土壤水分管理模式影響土壤養分動態甚大，應列入施肥推薦時之重要參考因素，配合土壤速測之結果，教導農民合理的施用肥料，必然獲致高產量及高品質的農產品，且節省肥料支出，增加農民收益，對生態環境之維護亦有莫大的助益。

表一、連續48年之長期試驗中施用氮素殘留於土壤中及流失之比率（農試所，台灣，1924－1972）

| Treatment | N added in 48 years kg/ha | N-uptake by rice plant kg/ha | % of added N absorbed by rice plant | Total N in soil after 48 years % | Total N in soil after 48 years kg/ha | % of added N left in soil | % of loss of added N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No fertilizer or manure | 0 | 2812 | 0 | A 0.15<br>B 0.09 | 2700<br>2700 | — | — |
| Complete inorganic fertilizers | 8075 | 4832 | 25.0 | A 0.17<br>B 0.09 | 3060<br>2700 | 4.5 | 70.5 |
| Farmyard manure & superphosphate | 8075 | 4885 | 25.7 | A 0.21<br>B 0.09 | 3600<br>3000 | 14.9 | 59.4 |

A-surface soil; Apparent density=1.2; Soil depth=15 cm; Weight=1,800,000 kg/ha.
B-subsoil; Apparent density=1.5; Soil depth=20 cm; Weight=3,000,000 kg/ha.
Source:Lin et al. 1973.

表二、幾種堆肥的成份含量

| 有機質資材的種類 | | 水分（%） | 成分含量（%）碳 | 氮 | 磷酐 | 氧化鉀 | 碳氮比 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 堆肥類 | 稻草堆肥 | 75 | 7.6 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | 19 |
| | 木質牛糞堆肥 | 60 | 17.5 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 25 |
| | 木質豬糞堆肥 | 60 | 17.1 | 0.9 | 1.3 | 0.7 | 19 |
| | 木質雞糞堆肥 | 50 | 20.0 | 1.0 | 2.0 | 1.1 | 20 |
| | 厩肥堆肥 | 60 | 10.8 | 0.3 | 0.1 | 0.04 | 36 |
| | 穀殼堆肥 | 55 | 22.0 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 44 |

（張學琨及羅秋雄 1994）

表三、台灣地區市售有機堆肥中重金屬含量

Table 3. The heavy metal contents of organic manure composts saled in Taiwan.

| Kinds of Compost | No. | Cu | Zn | Cr | Ni | Pb | Cd | As | Hg | References |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mg/kg | | | | | | | | |
| Hog | A | 1460 | 3670 | 65.7 | 80.0 | 65.6 | 3.92 | -- | -- | 1 |
| Hog | B | 6-301 | 35-623 | 3-8486 | 3.5-176 | 0.5-60 | ND-7.0 | 1.5-113 | -- | 2 |
| | | (101) | (232) | (898) | (32) | (17) | (1.9) | (18) | -- | |
| | | (42%) | (5%) | (33%) | (33%) | | | | | |
| Hog | C | 20-42 | 144-400 | 2.6-5.6 | 4.8-11.2 | 5-11 | 0.3-0.6 | -- | -- | 3 |
| Chicken | D | 9-394 | 56-1147 | 1-282 | 1.1-30 | ND-183 | ND-6.2 | ND-27.3 | -- | 2 |
| | | (99) | (286) | (23) | (12) | (14) | (14) | (9.6) | -- | |
| | | (33%) | (9%) | (1%) | (0%) | | | | | |
| Organic | E | 51.9 | 210 | 695 | 11.2 | 21.8 | 2.52 | 19.6 | 0.04 | 4 |
| Fertilizer | | (5%) | (8%) | (29%) | (3%) | (5%) | -- | -- | -- | |

A：重金屬分析為先行高溫灰化，再以 0.1 M HCL 溶解測定，以平均值表示。

B&D：重金屬全量分析。樣品總數為豬糞堆肥 36 個，雞糞堆肥 35 個。括號為平均濃度。括號內之百分比為樣品濃度超過 Cu 100 mg/kg，Zn 500 mg/kg，Cr 150 mg/kg，及 Ni 25 mg/kg 之樣品數百分比。

C：重金屬分析為 0.1 M HCL 萃取濃度。

E：重金屬分析為全量分析。樣品總數為 37 個，以平均值表示。括號內之百分比為樣品濃度超過肥料上限規定之樣品數百分比。

--：無資料。

(陳尊賢 1995)

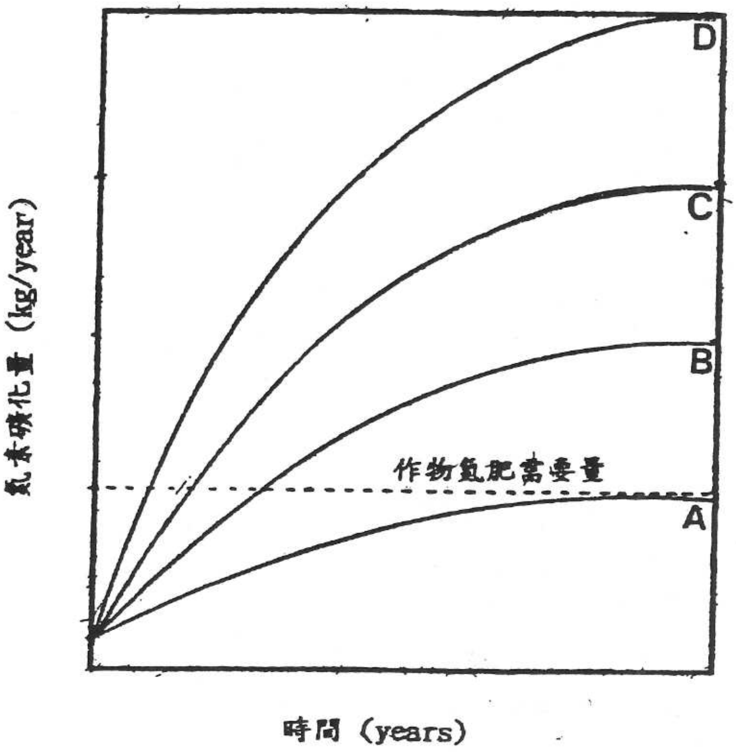
表四、台灣地區五個主要土類之重金屬全量之背景值之上限

Table 4. Background concentration of heavy metals in fives main soil group of Taiwan.

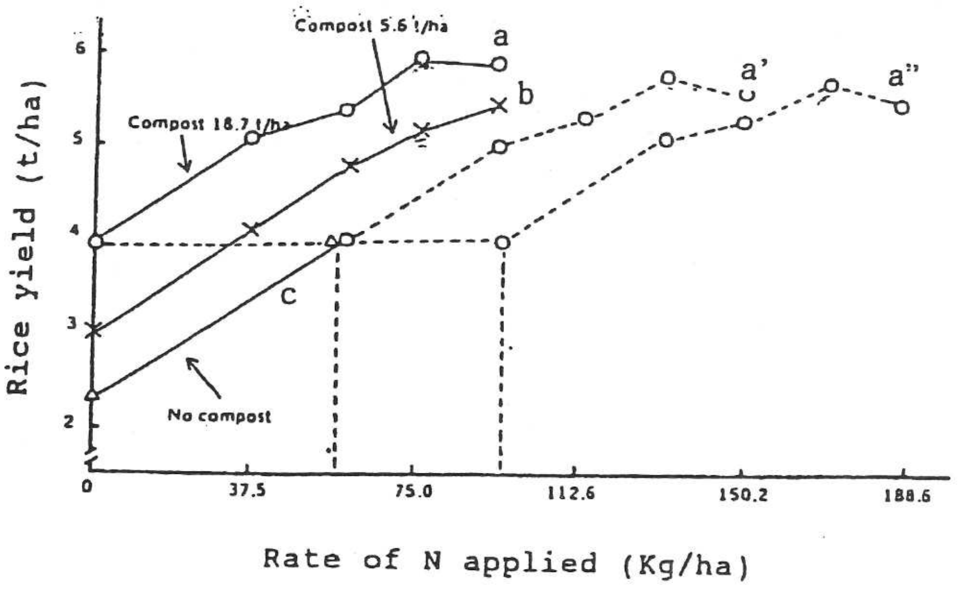
| 土 類 | 樣品數 | As | Cd | Cr | Cu | Hg | Ni | Pb | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mg/kg | | | | | | | |
| 黏板岩沖積土 | 8 | 21.0 | 0.30 | 130 | 40.0 | 0.80 | 60.0 | 60.0 | 140 |
| 紅 壤 | 6 | 16.0 | 0.10 | 110 | 30.0 | 0.10 | 35.0 | 30.0 | 95.0 |
| 黃 壤 | 2 | 8.00 | 0.50 | 120 | 30.0 | 0.20 | 25.0 | 25.0 | 65.0 |
| 砂頁岩沖積土 | 9 | 17.0 | 0.20 | 150 | 90.0 | 0.40 | 40.0 | 60.0 | 160 |
| 片岩沖積土 | 2 | 15.0 | 0.20 | 150 | 30.0 | 0.10 | 55.0 | 25.0 | 75.0 |
| Total++ | | 17.0 | 0.50 | 170 | 100 | 0.60 | 75.0 | 85.0 | 160 |

+：原則上以平均值加 2 倍標準偏差值之濃度或累積樣品達 95%時之最高濃度考慮。

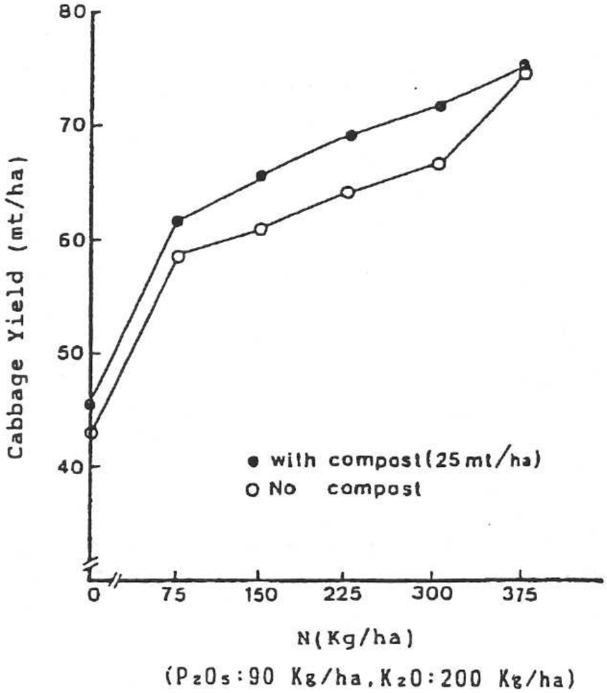
++：以 29 個代表土樣同時考慮之結果。 （陳尊賢 1992）



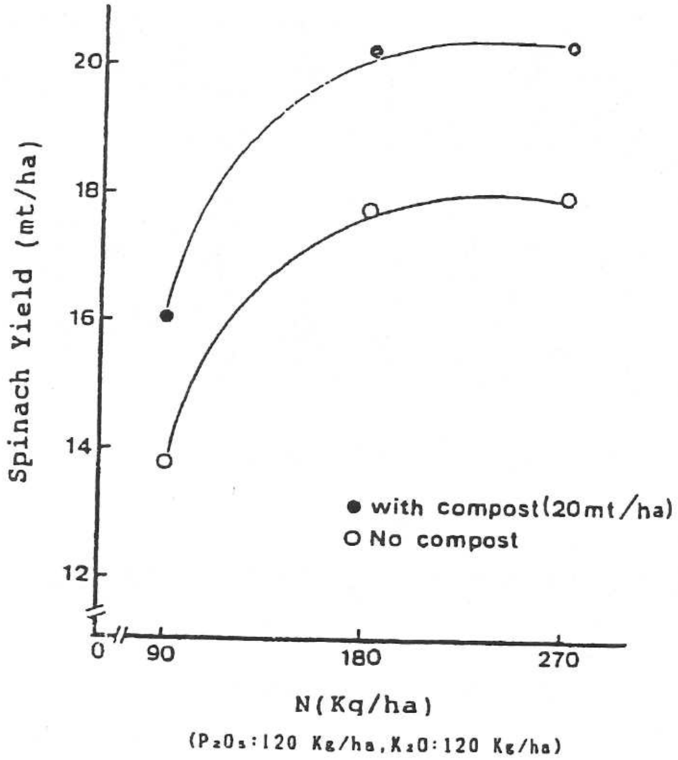

圖一、連用有機質肥料土壤氮素礦化量與時間之相關（A、B、C、D 分別代表施用有機質肥料之氮素量為作物氮肥需要量之 1、2、3、4 倍）



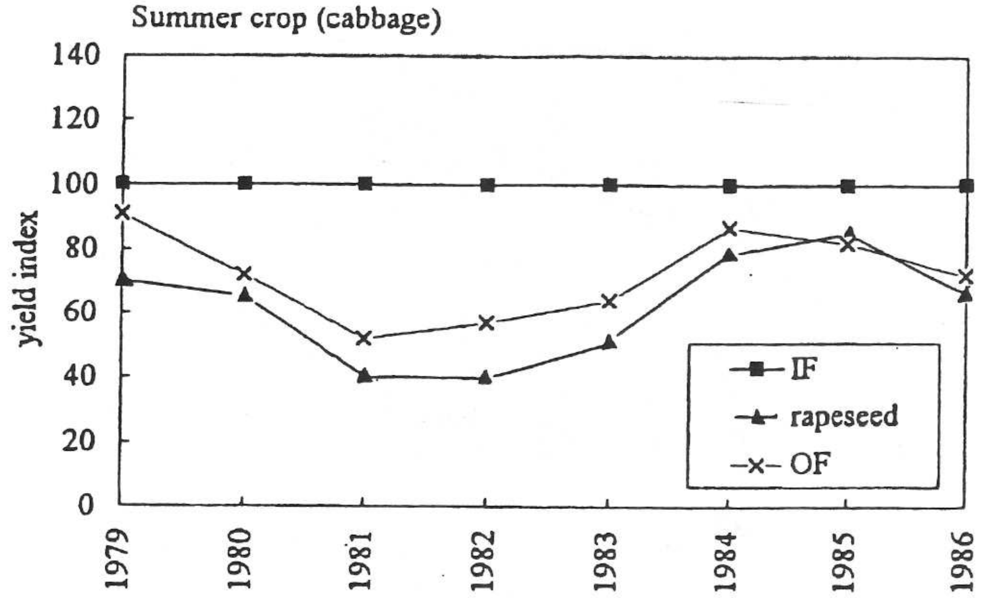

圖二、水稻收量對不同用量堆肥／化學氮肥之效應（連用試驗 22～26 年 5 間平均，Aomori, Japan） 資料來源：田中 1975



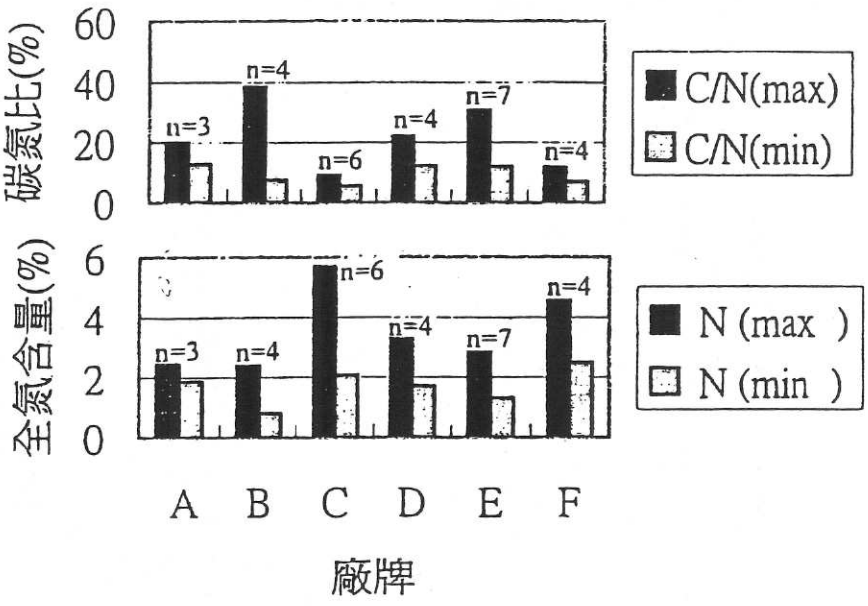

圖三、甘藍收量對不同用量堆肥／化學氮肥（尿素）之效應（彰化埔心，1970冬作） 資料來源：台中區農業改良場 1971



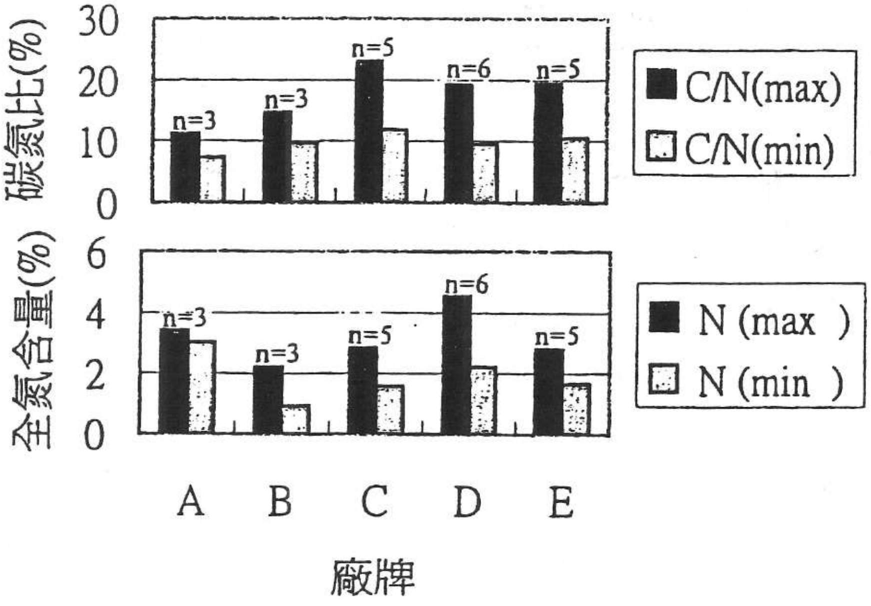

圖四、菠菜收量對不同用量堆肥／化學氮肥（尿素）之效應（彰化埔心，1970冬作） 資料來源：台北區農業改良場 1971



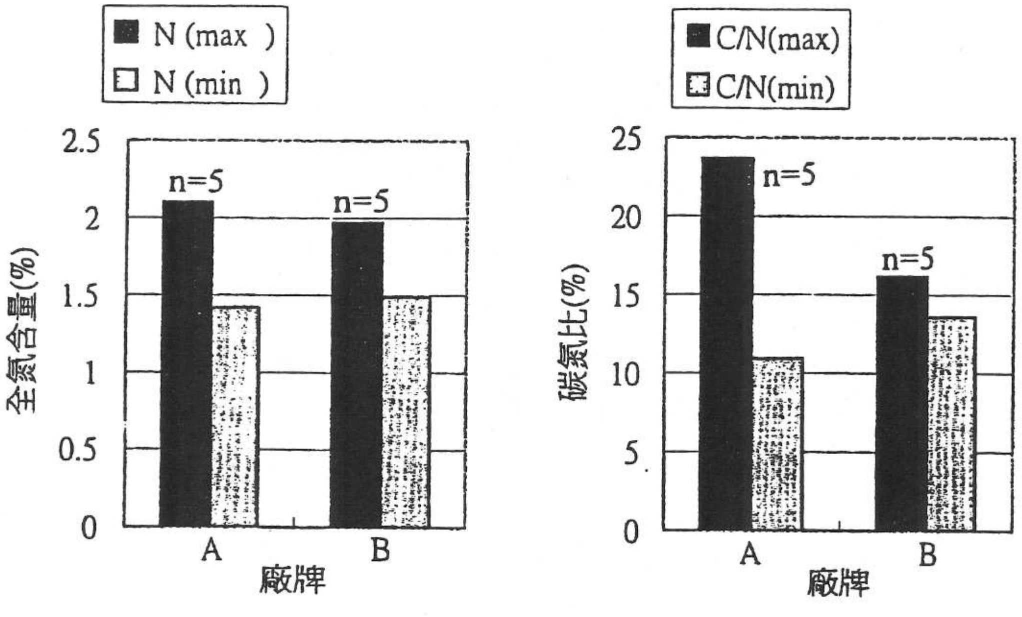

圖五、有機肥料與化學肥料連用試驗各區蔬菜相對收量之變遷



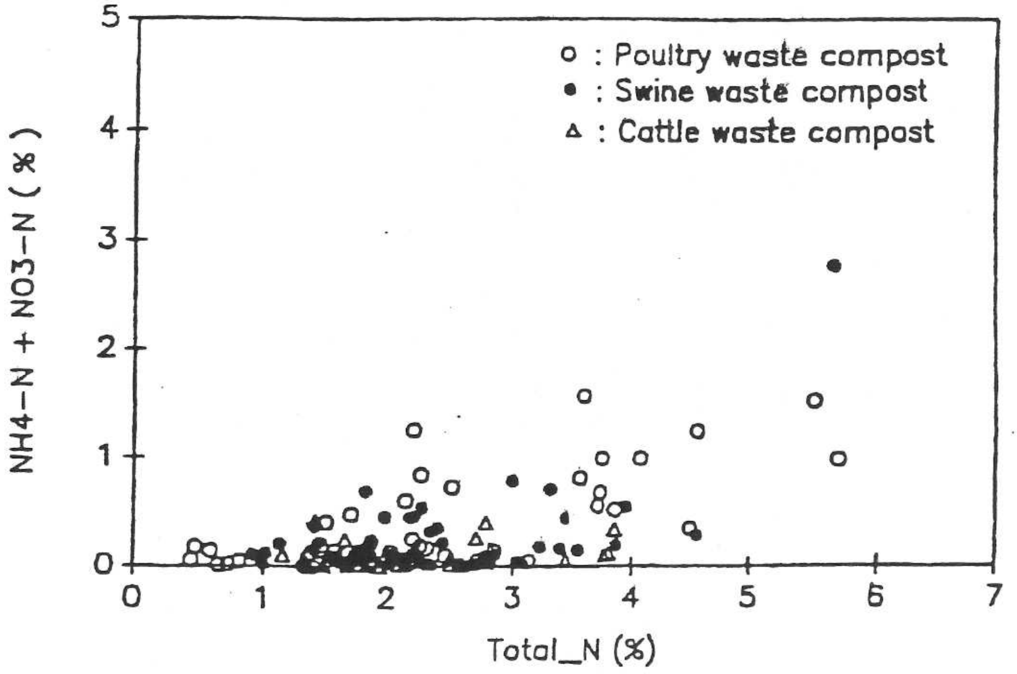

圖六、幾種雞糞堆肥全氮含量及碳氮比（n代表採樣分析次數）



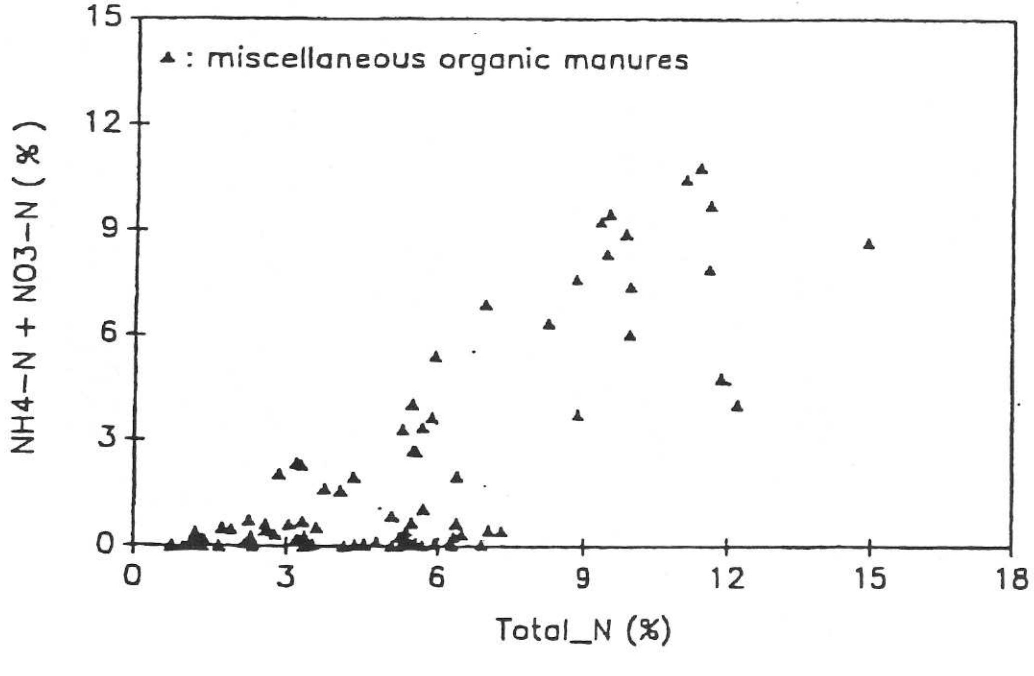

圖七、幾種豬糞堆肥全氮含量及碳氮比（n代表採樣分析次數）




圖八、幾種牛糞堆肥全氮含量及碳氮比（n代表採樣分析次數）




圖九、禽糞堆肥之全氮含量與無機態氮（銨態氮+硝酸態氮）含量之關係
（李豔琪及連深 1997）




圖十、雜項有機質肥料之全氮含量與無機態氮（銨態和硝酸態）含量之關係　（李豔琪及連深 1997）